引用格式：郭剑锋，张雪美，曹琪，等. 电动汽车助力我国能源安全与“碳达峰、碳中和”协同推进. 中国科学院院刊, 2024, 39(2): 397-407, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230306001.
Guo J F, Zhang X M, Cao Q, et al. Electric vehicles contribute to China's energy security and carbon peaking and carbon neutrality. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(2): 397-407, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230306001. (in Chinese)

电动汽车助力我国能源安全与“碳达峰、碳中和”协同推进

郭剑锋[1,2]　张雪美[1,2]　曹　琪[1,3]　顾　复[4,5*]

1 中国科学院科技战略咨询研究院　北京　100190
2 中国科学院大学　公共政策与管理学院　北京　100049
3 南京理工大学　经济管理学院　南京　210014
4 浙江大学　工程师学院　杭州　310015
5 浙江大学　机械工程学院　杭州　310027

摘要　当前国际形势复杂多变，我国正处于经济跃升的关键阶段，面临能源安全与“碳达峰、碳中和”（以下简称“双碳”）目标双重挑战。虽然能源安全是“双碳”目标的重要基石，但部分减排路径会对能源供应、电网负荷等与能源安全直接相关的要素产生约束，两者难以同时达到目标最优化。因此，如何理顺、优化能源安全与“双碳”目标的关系，协同推进两者发展，成为我国必须应对的挑战。电动汽车兼具节能、储能、减排等多方面效益，是保障能源安全与实现“双碳”目标协同发展的有力手段之一。文章以弱化政策间矛盾为出发点，提出建立以政策网络为保障、储能技术为立足点的双边整合协调系统，发挥电动汽车产业在构建兼容性政策网络中的保障作用，强化电动汽车在当前阶段的储能作用，联合政策—技术建立双边整合协调系统。

关键词　能源安全，“双碳”目标，电动汽车，协同推进

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20230306001

CSTR　32128.14.CASbulletin.20230306001

在全球资源与环境的制约下，能源形势逐渐严峻，能源格局亟须变革，能源安全也深受波及。为了解决经济快速发展带来的能源与环境问题，近年来，我国多次制定国家性、区域性和部门性的能源战略与

*通信作者

资助项目：国家自然科学基金重点项目（71832013），国家自然科学基金青年科学基金项目（71901194）
修改稿收到日期：2024年1月30日；预出版日期：2024年1月31日

环保战略，如“四个革命、一个合作”能源安全新战略①与“碳达峰、碳中和”②（以下简称“双碳”）目标。然而，在能源安全与“双碳”目标共同推进的过程中，快速减排策略也带来了一定能源安全风险。二十大报告进一步指出，立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动③。这些重大战略决策与部署都体现出我国在积极寻找于不同步调中保障能源安全与实现“双碳”目标的最大同步。

汽车行业作为高污染、高耗能产业，不断壮大的产业规模导致石油需求量与尾气排放量迅速增加，成为限制能源安全和增大碳排放的主要因素之一。随着电动汽车取代燃油汽车的变革大规模开展，在未来较长一段时间内，汽车行业必将经历巨大转变，这对保障我国能源安全、降低碳排放量具有积极作用。电动汽车能够推动能源多样化发展，减少交通行业对传统化石能源的依赖，降低国家能源风险；同时，电动汽车零排放特性有助于减少温室气体排放，助力实现“双碳”目标。各国政府出台的支持政策为电动汽车市场注入活力，全球范围内电动汽车销售量呈指数增长趋势。2022年，全球纯电动汽车销量达到780万辆，同比增长68%；中国纯电动汽车销量536.5万辆，同比增长81.6%，电动汽车的市场占有率持续增长[1]。因此，关注电动汽车的发展历程对保障能源安全与实现“双碳”目标协同发展具有重要意义。

当前研究侧重于描述能源安全保障工作与实现“双碳”目标工作的现状、发展方向和两者之间的矛盾，缺少电动汽车等产品对两者协同发展的影响机制与实证分析研究。本文在厘清我国能源安全与“双碳”目标关系的基础上，以电动汽车的高效能、零排放特征为核心，构建双三角理论，解析其对保障能源安全和实现“双碳”目标协同发展的影响机制。从稳定性和协调性角度，分析电动汽车对能源安全与“双碳”目标的推动作用，该推动作用涵盖政策协同、技术协同和整合协同3方面。为持续放大这些推动作用，未来需构建以政策网络为保障、储能技术为立足点的双边整合协调系统，以提升电动汽车在助力保障能源安全与实现“双碳”目标过程中的同步性、协调性，指引电动汽车产业未来发展的重心与方向。

1 能源安全与“双碳”目标的关系

现阶段我国能源安全保障工作已不再是简单地保障能源供应安全，同时还关注生态环境、可持续发展等问题。随着新型能源安全观深入人心，节能减排、低碳经济、“双碳”目标等可持续性发展战略也逐渐被纳入能源安全保障工作中。在保障能源安全与实现“双碳”目标协同推进过程中，由于两者的目标、定位等方面不尽相同，无法做到完全协同并进，因此，理顺两者之间复杂的关系显得尤为重要。

1.1 能源安全是“双碳”目标的重要基石

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的《全球升温1.5℃特别报告》④分析指出，全球到2050年左右将实现碳中和，实现绿色低碳已经成为全球发展不可阻挡的趋势和共识。碳排放主要来源于化石能源的燃烧，为达成“双碳”目标，我国势必要走

① 坚定不移贯彻落实能源安全新战略(声音). (2020-04-20)[2022-10-09]. http://opinion.people.com.cn/n1/2022/0420/c1003-32403234.html.

② 在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话. (2020-09-22)[2024-01-24]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2020/content_5549875.htm.

③ 习近平:高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告. (2022-10-25)[2022-11-08]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm.

④ IPCC. IPCC发布全球升温1.5℃特别报告.(2020-06-29)[2023-02-13]. http://www.casearth.com/index.php/home/data-service/67-ipcc-1-5.

由化石能源转向可再生能源的能源转型之路。我国资源禀赋决定了当前阶段我国的能源供给与消费均以煤炭为主（表1），为了保证社会稳定与国家长治久安，以煤炭为主的能源结构暂时难以改变，“双碳”目标也不是摒弃煤炭，而是不断开创高效技术，推动煤炭的高效、科学、绿色使用，巩固煤炭的兜底地位。

为保障煤炭兜底、能源供应安全，实现“双碳”目标仍需以能源安全为基石，以妥善利用煤炭为主要途径。煤炭清洁高效利用模式有2种：① 煤炭清洁化利用。煤炭高效清洁利用贯穿“双碳”目标的整个实现途径——碳替代、碳减排、碳封存、碳循环，涉及煤炭的安全、高效、绿色开采利用。预计到2050年，煤炭替代碳减排贡献率占全球碳中和的47%，碳减排、碳封存和碳循环贡献率分别占21%、15%和17%[2]。② 煤炭替代化应用。大力发展电动汽车等使用清洁能源的产品，降低化石能源使用比例，提高清洁能源使用比例。这充分表明绿色低碳与煤炭兜底并不相悖，能源安全保障工作同时也是推动“双碳”目标稳定前行的基石。

1.2 “双碳”目标下保障能源安全工作面临风险挑战

保障能源安全与实现“双碳”目标之间关系复杂，我国在实现“双碳”目标道路上面临起步晚、任务重、窗口期短等诸多问题，进一步加大了我国能源安全保障工作的预期目标与供给稳定压力。① 预期目标无法兼顾最优。实现“双碳”目标工作侧重环境可持续发展，而能源安全保障工作侧重为国家稳定提供能源供给支撑。在资源有限性条件的制约下，两者很难同时达到最优目标。② 能源供给的稳定性。若要如期完成“双碳”目标，需要立即改变以煤炭为主的能源消费结构。然而，对煤炭的清洁与替代使用也需要大量资金、技术与时间才能完成，这些都会给能源供给稳定性带来威胁。

通过对现有资料的梳理归纳，本研究发现不同阶

表1　2019—2021年我国能源生产与消费构成

Table 1　Composition of energy production and consumption in China from 2019 to 2021

能源类型		2019年		2020年		2021年	
		质量(亿吨标准煤)	占比(%)	质量(亿吨标准煤)	占比(%)	质量(亿吨标准煤)	占比(%)
煤炭	生产量	27.21	76.20	27.48	75.40	28.47	74.90
	消费量	28.11	62.80	28.35	62.20	29.37	61.30
石油	生产量	2.71	7.60	2.77	7.60	2.85	7.50
	消费量	9.27	20.70	9.39	20.60	9.82	20.50
天然气	生产量	2.25	6.30	2.48	6.80	2.58	6.80
	消费量	3.89	8.70	4.19	9.20	4.65	9.70
水电	生产量	1.61	4.50	1.68	4.60	1.63	4.30
	消费量	1.61	3.60	1.69	3.70	1.63	3.40
核能	生产量	0.43	1.20	0.44	1.20	0.49	1.30
	消费量	0.45	1.00	0.46	1.00	0.48	1.00
其他	生产量	1.50	4.20	1.60	4.40	1.98	5.20
	消费量	1.43	3.20	1.50	3.30	1.96	4.10

数据来源：国家统计局《中国能源统计年鉴2022》

Data source: National Bureau of Statistics, *China Energy Statistical Yearbook 2022*

段我国能源安全保障工作与“双碳”目标实现路径的侧重点并不相同（表2），快速推动“双碳”目标实现加剧了能源安全保障的风险挑战。① 传统能源安全风险。政府强调减排政策，化石能源生产和投资需求受影响、被抑制，化石能源产品产能下降、价格激增，导致我国传统能源供应安全风险。② 电力系统安全风险。能源低碳转型使能源安全保障工作的重心转向电力系统，以化石能源为底色的能源安全问题将演化为电力系统的安全保障问题。我国拥有全球60%—70%的光伏产业链资源发电系统和40%的风电产业链资源⑤，但当前可再生能源在发电过程中自身的波动性与不可调度性等缺点未能合理解决，大规模应用与并网增加了当前电力系统运行出现不稳定性情况的几率，提高了能源供应安全风险。

传统的燃油汽车依赖于石油资源，而石油资源的采集、运输和使用会产生大量的碳排放和环境污染，因此燃油汽车难以同时兼顾保障能源安全和实现“双碳”目标。为了解决这道难题，我国政府推动电动汽车代替燃油汽车的变革。一方面，电动汽车作为清洁产品，使用电能代替化石能源燃烧，因此具有较低的碳排放量。另一方面，电动汽车使用电池储存能量，不需要燃料，减少对石油的依赖，从而提高能源供给的安全性。因此，电动汽车有望成为实现“双碳”目标和保障能源安全的重要手段之一。

2 电动汽车助力保障能源安全与实现“双碳”目标协同发展的理论机制

电动汽车的未来市场空间巨大，深入分析其对保障能源安全与实现“双碳”目标协同发展的理论机制，对规划电动汽车市场扩散重心、技术提升、降低风险具有重大意义。双三角理论由“可持续发展三角”和“能源不可能三角”共同组成，分别从“能源—经济—环境”3个维度[3]（以下简称“‘3E’系统”）和“能源价格—能源供应—能源生态”3个维度[4]（以下简称“能源子系统”）描述可持续发展。电动汽车对能源安全和“双碳”目标协同发展的影响贯穿“3E”系统与能源子系统，涉及实现路径、短期现状与长期目标3个层次。基于此，本文构建了“两系统三层次”的理论机制分析框架（图1）。

2.1 “3E”系统下：电动汽车的稳定性推力

在社会与经济发展速率调整的过程中，能源系统

表2 我国实现能源安全与“双碳”目标的主要路径

Table 2 Main path for China to achieve energy security and dual carbon goals

能源安全		“双碳”目标	
阶段	路径	阶段	路径
传统化石能源为主，新能源为辅（2020—2035年）	煤炭清洁化开发利用；页岩油气等工业化开采；氢能产业链基本建成；可再生能源与核能规模化	实现碳达峰目标（2021—2030年）	提高能源使用效率；煤炭清洁化使用；新能源替代发电和工业端的煤炭消费；大力发展可再生能源；推广新能源汽车；居民生活方式低碳化
传统化石能源与新能源并重发展（2035—2050年）	页岩油气原位开采工业化生产；氢能社会逐渐建成；储能技术颠覆性突破	快速降低碳排放（2031—2045年）	“可再生能源+储能”将逐步实现平价上网；大面积完成“电动汽车+交通基础设施”组合建设；加大碳捕集与封存等负碳排放技术的推广使用
新能源占据主体地位（2050—2100年）	新能源全面低廉规模化应用；智慧能源互联网体系落成	深度脱碳，实现碳中和目标（2046—2060年）	可再生能源、储能、氢能等相关技术再突破；规模化推广碳汇、碳捕集与封存等负碳排放技术

⑤ 王默玲. 中国新能源“风”“光”走出去. (2020-08-17)[2022-12-07]. http://dz.jjckb.cn/www/pages/webpage2009/html/2020-08/17/content_66810.htm.

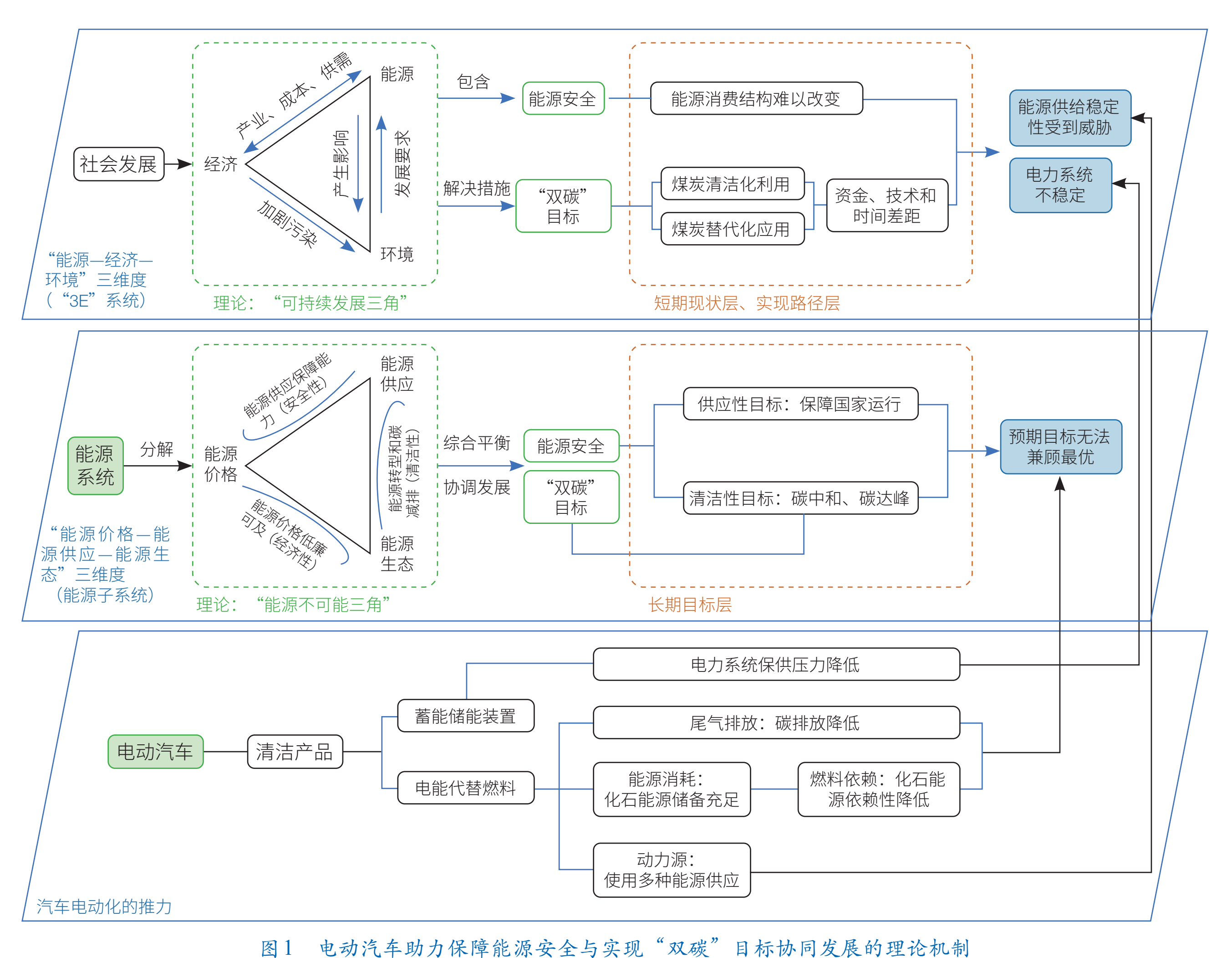


图1 电动汽车助力保障能源安全与实现“双碳”目标协同发展的理论机制

Figure 1 Theoretical mechanism for coordinated development of ensuring energy security and achieving dual carbon goals by electric vehicles

与环境系统的动态关联变化被称为“3E”系统的内部稳定性挑战。“可持续发展三角”理论认为在经济快速发展的当下，能源消耗与环境污染等问题的出现是不可避免的。为了缓解环境问题，政府应推行“双碳”政策，这类减排策略主要从能源领域切入，把握机遇转型，也就是说，环境问题与能源问题往往息息相关。尽管如此，能源转型也理应以维护能源安全为主要前提。然而，“双碳”目标的实现需要技术、资金与时间成本来高效清洁化利用煤炭，且基于能源安全保障考虑，短期内能源结构调整难以完成，这些都使得能源供给与电力系统的稳定性受到威胁。

“3E”系统下的电动汽车对保障能源安全与实现“双碳”目标协同发展具有推力作用，其主要表现为电动汽车行业能跨越短期现状和路径层次的缺陷，维持能源供给与电力系统稳定。① 就能源供给稳定性而言，电动汽车使用电能替代燃料作为动力驱动，而电能由化石燃料、水电、风电、核电和太阳能发电等多种不同动力来源供应，保障了能源供应的多元化，减少对单一能源的依赖，降低了能源系统的风险，提高了能源系统的可持续性和稳定性。② 就电力系统稳定性而言，实现“双碳”目标要求社会整体广泛使用清洁产品与清洁能源，进一步将能源消耗压力聚焦到电

力系统上。而电动汽车由于自身具备储能装置，因此其充电时间和充电方式也较为多样化，充电桩等配套基础设施可以在电网压力大时提供储能支持，为电网稳定运行提供保障。

2.2 能源子系统下：电动汽车的协调性推力

实现供应安全、清洁低碳、价格可及的能源供应是全球能源转型的终极目标，在现有技术条件下，三大目标的协调发展被业界称为“能源不可能三角”难题，即能源子系统下的不可能三角矛盾。在能源价格低廉可及的前提下，能源供应与能源生态无法同时达到最优，国家或政府必须对能源系统上述目标进行综合平衡和协调。保障国家能源供应稳定是能源安全的主要目标，而维持能源生态稳定也势必需要推行“双碳”政策。因此在技术与资源条件限制下，保障能源安全与实现“双碳”目标也面临同种不可能难题。

能源子系统下的电动汽车对能源安全与“双碳”目标协同发展的推力主要表现为长期来看两者在预期目标上的同步调发展。电动汽车作为一种以清洁能源驱动的交通工具，可以减少传统燃油汽车对化石燃料的依赖，从而降低我国能源对国际原油市场的依赖，保障能源安全。同时，电动汽车的推广可以促进清洁能源的使用，电动汽车的电能来源可以是太阳能、风能等清洁能源，进一步促进了清洁能源的市场化、产业化和技术创新，减少车辆行驶带来的尾气排放量，为实现“双碳”目标提供了巨大潜力。

3 电动汽车是助力保障能源安全与实现“双碳”目标协同发展的有效路径

电动汽车是保障能源安全与实现“双碳”目标的重要推手。基于上述电动汽车对两者协同发展的理论机制分析可知，要明确电动汽车助力两者协同发展的实现路径，则需要准确判别分析电动汽车协同作用的落脚点，这些协同作用可归结为政策协同、技术协同和整合协同3个方面。

3.1 政策协同

政策协同指的是电动汽车推广下的政策灵活协同与政策宏观调控协同。我国“双碳”目标的推进工作会影响能源供应安全的稳定性，电动汽车的发展从源头上为缓和两者冲突提供了可能（图2）。① 政策灵活协同。电动汽车的推广可以直接减少不可再生能源损耗，为政策制定提供更广阔的选择空间。电动汽车使交通运输动力从高污染的化石能源转向以电能为主的清洁能源，进而降低石油等化石能源的消耗，延长能源储量的可开采年限。在能源储备充足、能源供应稳定的基础上，政府工作重心可以偏移至能源安全保障工作中的气候变化或环境安全等其他领域，以此推动“双碳”目标进程。② 政策宏观调控协同。电动汽车的大规模应用可以间接影响能源价格，充分发挥政府宏观调控作用。“双碳”政策下，减排策略提高了化石能源成本，传统能源生产和投资需求受到抑制，供给弹性降低，能源价格飙升，加剧了能源供应风险。电动汽车的大规模应用降低了对传统能源的需求，根据市场供求定理可知，需求变动导致均衡价格与数量同方向变化，市场均衡价格和均衡数量将下降，弱化了能源安全的风险。

在推广电动汽车过程中，不同地方政府之间的政策协同一致性较低。各地政府制定和实施的电动汽车激励政策标准不一，不同地区的电动汽车产业规模不同，可能造成市场失衡和资源浪费，导致协同发展的效果不理想。此外，不同政策之间的协同作用不强。在政策调整过程中，政府很难根据管辖区域的能源安全保障工作和实现“双碳”目标工作之间的矛盾级别制定相适宜的政策，这也可能对电动汽车的推广和能源结构转型产生不利影响。

3.2 技术协同

技术协同指的是电动汽车与电网系统协同运行下的储能技术升级、充放电技术优化。电动汽车与电网系统协同运行的“车辆到电网”（V2G）模式允许电动

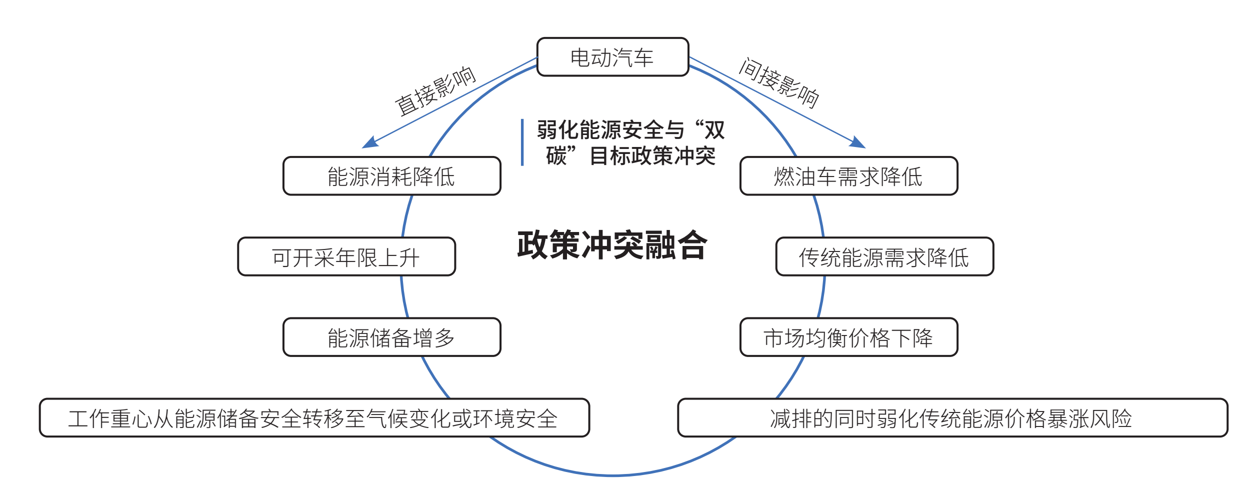


图2　电动汽车对保障能源安全与实现“双碳”目标的政策协同路径

Figure 2　Policy synergy paths for electric vehicles to ensure energy security and achieve dual carbon goals

汽车将其电池存储的电能释放到电网中，以便于稳定电力系统的供需平衡、响应电力市场的需求变化。本文在按照电动汽车在V2G模式下参与电网服务的“成本—收益测算方法”[5]，根据峰谷电价差构建了峰谷电价差（P_{gap}）为0.3元、0.4元、0.5元、0.6元、0.7元和0.8元共6种情景分析V2G模式下的单车用电调节总收益与净收益情况（表3）。结果表明，V2G模式下蓄能—储能总收益与净收益均随着峰谷电价差增大而增大，即在峰谷电价差距较大的地区投入电动汽车往往能调节电网用电波峰波谷，且能带来更高的收益。数据支撑下的实证表明引入V2G模式的电动汽车对于电网来说具有正效应。

电动汽车与电网系统协同发展主要依赖V2G模式下储能技术与充放电技术的紧密联合，已实现能量高效利用和电网优化调度。① 实现能量的双向流动。在电动汽车停车充电时，电池可以作为电网的储能设备，将多余的电能储存起来；而在电动汽车需要行驶时，电池可以作为移动式储能设备，将储存的电能释放出来供电动汽车使用。储能技术可以将电动汽车的电池作为移动式储能设备，放置在发电侧、电网侧和用户侧，与电网系统进行互动，这种基于储能技术的双向能量流动可以实现电动汽车与电网系统的协同发展。② 优化电网负荷管理。通过充放电技术，可以实现电动汽车充电智能化控制，避免电动汽车集中充电对电网带来的冲击；同时，电网可以通过充放电技术，对峰谷电量进行平衡，实现负荷的优化调度。

3.3 整合协同

整合协同指的是电动汽车对能源安全与“双碳”

表3　电动汽车V2G模式下单车“蓄能—储能”总收益与净收益情景分析结果

Table 3　Gross revenue and net income analysis for energy accumulation-storge per single electric vehicle in V2G mode of EVs

项目	金额(元)					
峰谷电价差(P_{gap})	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
总收益	2 100	2 250	2 400	2 700	3 090	3 240
净收益	62.39	379.06	562.39	929.06	1 385.72	1 602.39

注：电价峰值最高价为1.08元，电价谷值最低价为0.28元，故表中计算使用的最大峰谷电价差为0.8元

Note: The highest price of peak electricity price is 1.08 CNY, the lowest price of off-peak electricity price is 0.28 CNY, so the biggest peak-to-valley electricity price difference is 0.8 CNY

目标达成最优的有效推力，具体表现为依托政策与技术推动的电动汽车节能减排双效用协同发展。电动汽车兼具良好的节能和减排效益，有利于保障能源安全与实现“双碳”目标的同步调发展。本文通过能源消耗与碳减排测算模型[6]，并按照电动汽车（EV）与燃油汽车（FV）市场占有率比例构建了道路上行驶的汽车中电动汽车与燃油汽车不同占比的情况，即电动汽车占比0%、20%、40%、60%、80%和100%对应燃油汽车占比100%、80%、60%、40%、20%和0%共6种情景，分析了2015—2022年，电动汽车的能源消耗与碳排放情况（图3）。结果表明随着电动汽车市场占有率比例上升，道路汽车能源消耗与碳排放均有所下降，电动汽车节能减排双效应明显。随着电动汽车的技术升级，能源消耗在2018年达到高峰后渐趋下降；随着时间推移，提高电动汽车市场占有率对减排的边际效果逐渐减弱，但汽车碳排放总体上仍然呈现逐年下降的趋势。实证表明电动汽车兼具良好的节能和减排效益，随着技术的不断进步和政策的不断优化，电动汽车将会在未来成为推动能源可持续发展和保护生态环境的重要力量。

电动汽车可以依托政策与技术推动节能减排双效用协同发展。① 政策层面。政府可以制定购车补贴、减免车辆购置税、制定排放标准等政策，刺激市场需求和企业技术升级，扩大电动汽车市场占有率，提高电动汽车的能源利用效率和减排效益。② 技术层面。节能减排技术具有多阶段、多样性等特点，贯穿电动汽车的生产至回收阶段。节能减排技术包括车身轻量化技术、高效驱动系统技术、智能充电和管理技术、能量回收技术等。例如，采用轻量化铝合金车身和碳纤维增强材料可以降低车身自重，提高能源利用效率和行驶里程；采用永磁同步电机、变速器无级变速技术等可以提高电动汽车的动力性能。这些技术手段均可避免能源浪费、降低碳排放，为电动汽车节能减排双效用协同发展提供支持。然而，电动汽车在推广过程中也存在技术瓶颈难以突破、安全事故频发、配套设施不足等问题，这影响了电动汽车的发展，为保障

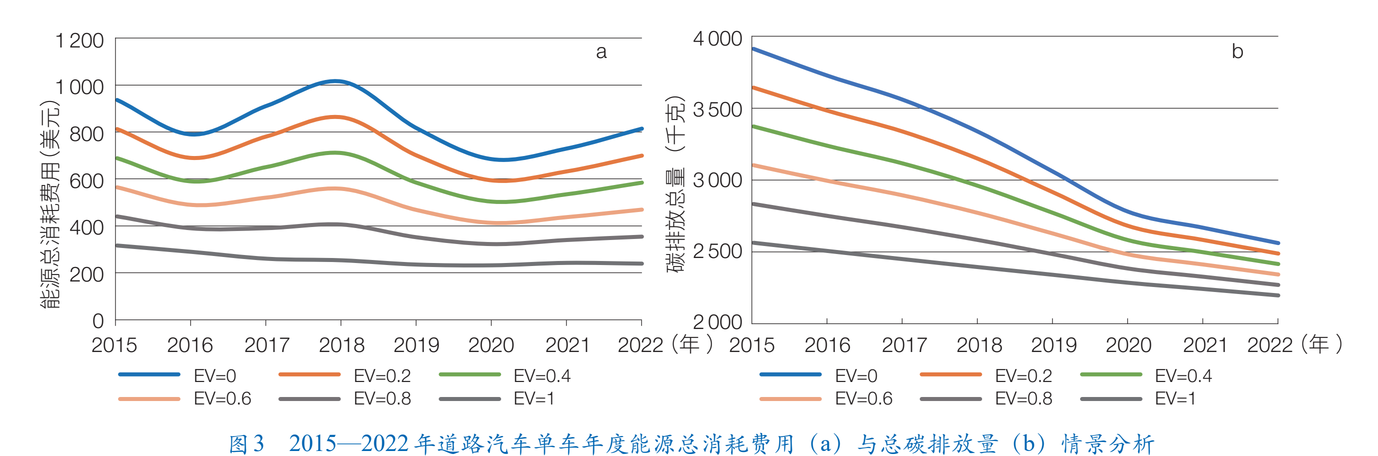


图3　2015—2022年道路汽车单车年度能源总消耗费用（a）与总碳排放量（b）情景分析

Figure 3　Scenario analysis of road vehicle energy consumption (a) and carbon emissions (b) per single electric vehicle from 2015 to 2022

由于油耗与电耗单位指标不一致，故计算能源总消耗费用时，统一折合成费用度量；EV指电动汽车，当EV=0时表示道路上行驶的汽车中电动汽车占比为0%、燃油汽车占比为100%，其他同理

Due to the inconsistency in units between fuel consumption and electricity consumption, when calculating the total energy consumption cost, they are uniformly converted into cost measurements. EV refers to electric vehicles. When EV=0, it indicates that among the vehicles traveling on the road, the percentage of electric vehicles is 0%, and the percentage of gasoline vehicles is 100%. The same applies to other scenarios

能源安全与实现“双碳”目标工作的协同发展带来了一定的阻碍，还需要进一步研究和解决。

4 政策建议

当前，我国政府应建立以政策网络为保障储能技术为立足点的双边整合协调系统，以缓和能源安全保障工作与实现“双碳”目标工作之间的潜在矛盾。基于此，提出以下3点建议。

4.1 充分发挥电动汽车产业在构建兼容性政策网络中的保障作用

电动汽车规模化发展对能源安全政策和“双碳”政策间的冲突有缓和作用，但从政策制定源头解决两者间的矛盾则更为重要。

（1）预防政策冲突。应有针对性地制定以电动汽车行业发展为抓手的政策，分时、分段优化政策目标，融合能源与环境政策冲突点，充实顶层规划的政策储备工具箱。

（2）构建层级网络。以电动汽车产业为桥梁，优先制定能源安全与“双碳”目标兼容发展的政策，如加快电动汽车产业规模化、电气化、储能化进程等。通过健全电动汽车产业内自上而下的政策体系，从供应端、技术段、回收端共同建立政策网络机制，从政府侧、企业侧等外部协同发展构建政策网络结构，扩大政策可选择空间。

（3）地方因地制宜。地方政府应当针对当地环境与能源系统的实际情况，把发展电动汽车产业作为政策工具之一，在目标制定、政策执行和施行反馈中吸取经验、因地制宜、动态调整政策方向。

4.2 通过技术手段强化电动汽车在当前阶段的储能作用

电网系统的稳定性不高是能源安全保障工作和实现“双碳”目标工作的共同痛点，但负载V2G模式的电动汽车作为储能的重要工具引起了政府的高度重视，因此需从电动汽车设计至回收各阶段综合策划以降低电动汽车储能装置成本、提高储能能力与水平，扩大电动汽车储能布局面。

（1）电动汽车设计阶段。通过完善电池、电机、控制系统等部件，设计不同的高效储能系统，以实际应用场景诉求为参考标准，针对具体场景、电池充放电能力、储能机的最大功率、负载的用电时段等因素详细分析、设计、挑选合适的储能系统，提高电动汽车储能能力。

（2）电动汽车生产阶段。重点利用轻量化技术制造电动汽车车身部件，选择不同方式产生的能源装备电动汽车的储能系统，缩减装备各环节的割裂式管理，通过协同优化整合降低储能系统装备成本，避免能源浪费。

（3）电动汽车使用阶段。采用高效电机、变速器、电子控制系统等高效驱动系统技术，提高能源利用效率，将剩余的能源存储起来以保证后续行驶时能源自给自足，同时可以使用先进的电池管理系统，监测电池的状态和性能，减少电池的寿命损失，提高储能效果。

（4）电动汽车回收阶段。运用环保的回收技术系统化、梯次化地利用退役动力电池，提高电池全生命周期的利用价值，降低储能装置成本，为下一阶段储能技术的升级节余资本。

4.3 联合政策—技术建立双边整合协调系统

电动汽车节能减排的双效益效果使其成为能源安全保障工作与实现“双碳”目标工作间协同发展的重要推力之一，政策与技术是其最主要的途径，构建政策—技术双边整合协同体系有利于并行推进能源系统与环境系统的保障工作。

（1）政策联合。与各国政府联合制定统一减排目标、统一充电标准的车辆等，从而促进国际市场互通，扩大电动汽车市场规模。

（2）技术联合。企业和科研机构联合开展电动汽

车技术研发工作，共同解决电动汽车的技术难题，尤其是电池技术、充电技术、智能交通系统等与节能减排息息相关的技术，从而提高电动汽车的节能效用和竞争力。

（3）资源共享。建议各级政府共享电动汽车相关资源和人才交流库，鼓励企业公开电池材料、电动汽车零部件、充电设施等制造细节与方法，降低电动汽车的制造成本；互派专家和工程师进行技术交流和培训，从而促进电动汽车技术的共同进步，以期在合作中共同解决安全隐患问题，共建共用配套设施。

参考文献

1 周卓斌. 全球电动汽车销量强劲增长中国成为主要推动力. 人民日报, 2023-03-01(17).
Zhou Z B. Global electric vehicle sales grew strongly, with China as the main driver. People's Daily, 2023-03-01(17). (in Chinese)

2 IEA. CO_2 Emissions from Fuel Combustion 2019. Paris: International Energy Agency, 2019.

3 Munasinghe M. Environmental Economics and Sustainable Development. Washington DC: World Bank, 1993.

4 Heffron R J, McCauley D, Sovacool B K. Resolving society's energy trilemma through the Energy Justice Metric. Energy Policy, 2015, 87: 168-176.

5 杨捷, 郭凡, 曹子健. 电动汽车储能V2G模式的成本与收益分析. 储能科学与技术, 2020, 9(S1): 45-51.
Yang J, Guo F, Cao Z J. Cost and benefit analysis of EV energy storage through V2G. Energy Storage Science and Technology, 2020, 9(S1): 45-51. (in Chinese)

6 Li J, Nian V, Jiao J. Diffusion and benefits evaluation of electric vehicles under policy interventions based on a multiagent system dynamics model. Applied Energy, 2022, 309: 118430.

Electric vehicles contribute to China's energy security and carbon peaking and carbon neutrality

GUO Jianfeng[1,2] ZHANG Xuemei[1,2] CAO Qi[1,3] GU Fu[4,5*]

（1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 School of Economics and Management, Nanjing University of Science and Technology, Nanijing 210014, China;

4 Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310015, China;

5 School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China）

Abstract The current international situation is complicated and unstable, and China is in the midst of an important economic transition as it deals with the twin concerns of energy security and carbon peaking and carbon neutrality (referred to as dual carbon goals). Although the dual carbon goals aim a strong emphasis on energy security, certain emission reduction strategies will place restrictions on energy security that is directly connected, such as energy supply and grid load, making it challenging to simultaneously fulfill the optimization goal. China now has the task of figuring out how to rationalize and optimize the coordinated promotion of the two. Electric vehicles are one of the most effective ways to attain both sides and reduce the tension between energy security and dual

*Corresponding author

carbon goals since they offer numerous advantages in terms of energy savings, energy storage, and emission reduction. This study suggests creating a bilateral integration and coordination system guaranteed by the policy network and based on energy storage technology by first reducing policy inconsistencies; giving the electric vehicle industry's guarantee role full play in creating a network of suitable policies; increasing the energy storage role of electric vehicles as they stand; and creating a system of bilateral integration and coordination with joint policy and technology.

Keywords energy security, dual carbon goals, electric vehicles, convergence role

郭剑锋 中国科学院科技战略咨询研究院智库建设研究部执行主任、研究员。主要从事数据驱动的政策分析与推演、能源环境政策和数字化转型战略等方面研究工作。E-mail: Guojf@casisd.cn

GUO Jianfeng Professor and Executive Director of Think-tank Construction Research Department of Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS). He mainly engages in the research of data-driven policy analysis and deduction, energy and environmental policy and digital transformation strategy. E-mail: Guojf@casisd.cn

顾 复 浙江大学机械工程学院工业与系统工程系工程研究所副教授，浙江大学工程师学院工程管理中心副教授，中国优选法统筹法与经济数学研究会管理理事。长期从事智能制造、环境研究、应用经济、信息管理等方面研究工作。
E-mail: gufu@zju.edu.cn

GU Fu Associate Professor of Engineering Research Institute, Department of Industrial and System Engineering, School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Associate Professor of Engineering Management Center, Polytechnic Institute, Zhejiang University, and Management Director of Chinese Society of Optimization, Overall Planning and Economical Mathematics. He has long been engaged in research work in intelligent manufacturing, environmental research, applied economics, information management, etc. E-mail: gufu@zju.edu.cn

■责任编辑：文彦杰